



Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 664.2
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.016

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛОВ

Геннадий Валентинович Алексеев ¹, Вячеслав Алексеевич Шанин ²,
Анна Геннадьевна Леу ³, Артем Андреевич Бирченко ⁴

^{1, 2, 3, 4} Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

¹ gva2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2867-108X>

² shanin.vyacheslav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1257-2319>

³ anna.leu@mail.ru

⁴ topgear67@mail.ru

Аннотация. Современные исследования в области получения модифицированных крахмалов выполняются, как правило, с целью разработки высокоэффективного метода обработки крахмала для получения продукта, предназначенного для применения в пищевой промышленности и обладающего требуемыми потребительскими характеристиками. Повсеместное использование модифицированных крахмалов в качестве функциональных добавок в технологических процессах стимулирует запрос на получение новых видов продукта и оптимизацию методов обработки сырья. Применение ультразвука в качестве способа воздействия на структуру крахмала представляет интерес для использования в пищевой промышленности как экологичный, безопасный и эффективный метод обработки. Крахмал, модифицированный ультразвуком, в зависимости от условий процесса обработки может приобретать такие свойства, как повышенная влагоудерживающая способность, снижение температуры и времени клейстеризации, повышение скорости и степени набухания. В связи с тем, что модифицированные крахмалы являются востребованным продуктом, актуальна разработка технологической схемы процесса получения модифицированных крахмалов и технологического оборудования, отвечающего требованиям современных промышленных предприятий. Предлагаемая нами конструкция аппарата для модифицирования крахмала обеспечивает более равномерную обработку сырья и позволяет интенсифицировать процесс благодаря устройству конической части аппарата и работе ультразвукового генератора, вызывающего эффект кавитации в суспензии. Использование постоянного магнита в составе конструкции аппарата вызывает в суспензии интенсивное магнитное поле, что приводит к деполяризации молекул жидкости, что также повышает эффективность работы устройства. В результате разработанное устройство позволяет добиться больших значений массового выхода и высокой чистоты модифицированного крахмала по сравнению с аналогичным оборудованием.

Ключевые слова: модифицированные крахмалы, ультразвуковая обработка, крахмальная суспензия, кавитация, диспергирование, теория планирования эксперимента, уравнение регрессии.

Для цитирования: Использование физических воздействий при интенсификации производства крахмалов / Г. В. Алексеев [и др.]. // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 115–122. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.016.

Original article

USE OF PHYSICAL INTERVENTIONS IN INTENSIFICATION OF STARCH PRODUCTION

Gennady V. Alekseev ¹, Vyacheslav A. Shanin ^{2, 3}, Anna G. Leu ³,
Artem A. Birchenko ⁴

^{1, 2, 3, 4} National Research University ITMO, Saint Petersburg, Russia

¹ gva2003@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2867-108X>

² shanin.vyacheslav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1257-2319>

³ anna.leu@mail.ru

⁴ topgear67@mail.ru

Abstract. Modern research in the field of obtaining modified starches is carried out, as a rule, with the aim of developing a highly efficient method for processing starch to obtain a product intended for use in the food industry and possessing the required consumer characteristics. The widespread use of modified starches as functional additives in technological processes stimulates the demand for obtaining new types of products and optimization of raw material processing methods. The use of ultrasound as a method of influencing the structure of starch is of interest for use in the food industry as an environmentally friendly, safe and effective method of processing. The starch modified by ultrasound, depending on the conditions of the processing process, can acquire such properties as increased water-holding capacity, a decrease in the temperature and time of gelatinization, and an increase in the rate and degree of swelling. Due to the fact that modified starches are a popular product, it is relevant to develop a technological scheme for the process of obtaining modified starches and technological equipment that meets the requirements of modern industrial enterprises. The design of the apparatus for starch modification proposed by us provides a more uniform processing of raw materials and allows to intensify the process due to the device of the conical part of the apparatus and the operation of the ultrasonic generator, which causes the effect of cavitation in the suspension. The use of a permanent magnet in the structure of the apparatus causes an intense magnetic field in the suspension, which leads to depolarization of liquid molecules, which also increases the efficiency of the device. As a result, the developed device makes it possible to achieve high values of mass yield and high purity of modified starch in comparison with similar equipment.

Keywords: modified starches, ultrasonic treatment, starch suspension, cavitation, dispersion, theory of experimental design, regression equation.

For citation: Alekseev, G. V., Shanin, V. A., Leu, A. G. & Birchenko, A. A. (2021). Use of physical interventions in intensification of starch production. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 115-122. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.016.

ВВЕДЕНИЕ

Продовольственная безопасность Российской Федерации требует всемерного развития производства продуктов питания, в том числе импортозамещающих. С этой целью сформулированы перечни инновационных критических технологий и приоритетных направлений развития научно-технологического комплекса, включающие в качестве первостепенных мер развитие технологий биоинженерии и рациональное природопользование. Безусловным первенством в реализации этих направлений в области

развития пищевых производств является переработка такого доступного отечественного сырья, как картофель [1].

Производство крахмала и крахмалопродуктов непрерывно растет не только в России, но и в мире, и занимает одно из заметных мест в экономике большинства развитых стран. Это связано с резким ростом в последнее время выработки сахаристых продуктов из модифицированных крахмалов, а также с организацией производства биоразрушаемых полимерных материалов на его основе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛОВ

Один из видов модифицированных крахмалов получают обработкой крахмальной суспензии химическими реагентами, в частности, смесями в различных концентрациях FeSO_4 и H_2O_2 . Проблема часто возникает из-за неравномерности распределения химических реагентов по объему суспензии и нестабильности их воздействия на обрабатываемую среду [2].

Предлагаемый аппарат частично решает эту проблему и представляет собой устройство, которое включает корпус с входным участком в форме расширяющегося по ходу движения эмульсии усеченный конус с патрубком для отвода эмульсии и ротор в виде обращенного вершиной в сторону входного участка корпуса, привода вращательного движения и ультразвукового генератора возвратно-поступательных перемещений [3].

Работает аппарат следующим образом. Между стеной корпуса 1, на которой располагается постоянный магнит 2 и одноименным полюсом большего диаметра конического ротора 3, имеющего винтовую канавку, производится конечная обработка крахмальной суспензии, что позволяет достичь интенсивной деполяризации капелек смеси, состоящей из крахмальных зерен и химических ингредиентов. Таким образом, достигается стабильность получаемого крахмала. Для облегчения переноса мелкодиспергированных частиц суспензии ротор 3, размещаясь в корпусе ротора 4, опирается на подшипник 5, со-

единяясь с приводом 6 и электродвигателем 7. На корпусе ротора 4 установлен ультразвуковой генератор 8 в виде двух встречно включаемых электромагнитных катушек. Генерируемые ими ультразвуковые колебания вызывают эффект кавитации ингредиентов суспензии, с большой скоростью перемещающихся в винтовой канавке ротора 3. Разбрызгивающаяся в зоне патрубка для отвода смесь посредством регулятора 9 обрабатывается в магнитном поле необходимой для большей стабильности напряженности, что обеспечивается необходимым режимом магнитно-ультразвуковой обработки.

Конструкция и принцип работы устройства позволяет увеличить дисперсность крахмальной суспензии, что положительно сказывается на ее структурной стойкости. Частицы в смеси, перемещаясь по винтовой канавке, интенсивно перемешиваются и разгоняются, разбрызгиваясь на срезе большего диаметра конического ротора. Установленный на отводном патрубке постоянный магнит с возможностью регулирования зазора между ним и плоской поверхностью ротора позволяет варьировать интенсивность магнитной обработки смеси, деполяризуя капельки суспензии, попадающие в неравномерное магнитное поле высокой напряженности. После этого деполяризованные частички теряют способность вновь соединяться с другими каплями суспензии, что повышает дисперсность продукта.

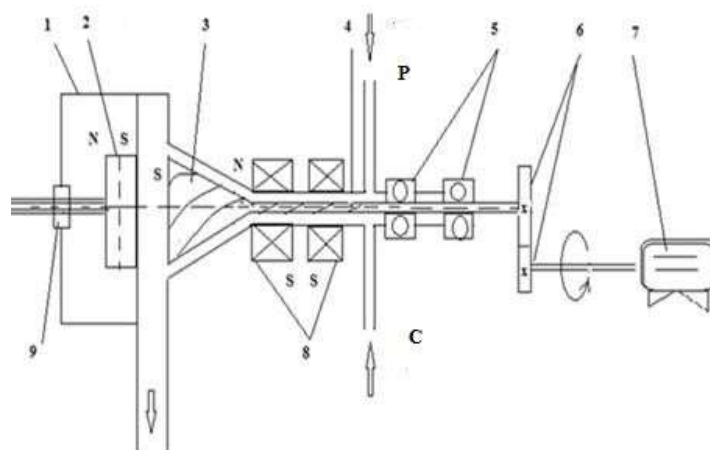


Рисунок 1 – Аппарат для стабилизации свойств пищевой суспензии
P – химические реагенты, C – крахмальная суспензия

Figure 1 - Apparatus for stabilizing the properties of food suspension
P - chemical reagents, C - starch suspension

Процессам совершенствования технологий переработки пищевого сырья посвящено большое количество исследований, в том

числе с использованием самых последних научных достижений. К числу таких новых технологических приемов относят воздей-

ствии на пищевые среды физических полей разной природы и интенсивности.

Исследовано, например, влияние магнитного поля на седиментационный процесс отстаивания сусла. На основании многочисленных лабораторных опытов установлены условия достижения максимального эффекта омагничивания: совместная обработка с адсорбентами, соблюдение последовательности и определенных режимов омагничивания и др.

Е. А. Сидорова и Г. Ш. Дандамаев [4] сообщали об использовании омагничивания вин с целью их осветления. Эти же авторы испытывали и магнитную обработку сусла для улучшения его осветления.

И. Г. Чумак, А. В. Овсянник и В. С. Мурашов [5] омагничивали воду и сливочную смесь мороженого слабыми (до 140 кА/м) полями. Установлено сокращение продолжительности процесса кристаллизации на 10–30 %.

В статье описывается попытка совершенствования процесса получения крахмала использованием аналогичных воздействий на картофельную кашку.

МЕТОДЫ

Для решения вопросов о рациональных режимах воздействия магнитного поля на доброкачественность извлеченного крахмала, а также его белизну (при известных заданных режимах ультразвуковой обработки [6]), проводили исследования, используя теорию планирования эксперимента.

В соответствии с известными рекомендациями при проведении эксперимента искали зависимости доброкачественности извлеченного крахмала (Y_1), а также его белизны (Y_2), принятых в качестве функций отклика, от варьируемых параметров: X_1 – времени обработки и X_2 – индукции магнитного поля, в виде:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2.$$

Нормированные факторы X_1 и X_2 , учитываемые в литературе данные, записывали в виде

$$X_1 = (\tau - 180)/85;$$

$$X_2 = (B - 125)/46;$$

где τ – время обработки в постоянном магнитном поле, [сек];

B – магнитная индукция поля, [мТл].

Обеспеченная высоким качеством примененных неодимовых магнитов, высокая точность поддержания выбранных факторов на заданных уровнях, выявленная в ходе по-

становочных исследований, позволила для дублирования экспериментальных данных ограничиться тремя параллельными опытами.

При помощи таблицы случайных чисел последовательность проводимых опытов была рандомизирована для устранения влияния случайных погрешностей. Матрицы планирования эксперимента записывали в виде таблиц 1 и 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После испытания образцов в определенном порядке результаты заносились в столбцы, отведенные для функций отклика:

Y_1 – доброкачественность извлеченного крахмала (D_6), Y_2 – белизна крахмала (γ).

Для получения статистически достоверной математической модели проверяли воспроизводимость эксперимента в виде однородности дисперсий выборок функций отклика Y_1 и Y_2 . Для этой цели вычислялось значение критерия Фишера по формуле:

$$F_p = \frac{\max\{s_{yi}^2\}}{\min\{s_{yi}^2\}}.$$

Для данных таблиц 1 и 2 это значение оказалось равным 4,0, что меньше табличного значения, равного 9,28 для доверительной вероятности 95 %.

Выявленное соотношение между расчетным и табличным значениями критерия Фишера свидетельствует о воспроизводимости эксперимента и дает основание коэффициенты модели вычислить по формулам:

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^M \bar{Y}_j}{M}, \quad a_j = \frac{\sum_{j=1}^M \bar{Y}_j X_j}{M},$$

где X_j – столбцы элементов матрицы планирования;

\bar{Y}_j – среднееарифметическое значение для каждой из функций отклика по трем параллельным опытам;

M – число разных экспериментов ($M = 4$).

Результаты вычислений по приведенным формулам с помощью пакета прикладных программ EXCEL для выполненного эксперимента дали следующие оценки коэффициентов уравнения регрессии для Y_j :

$$a_0 = 0,3943; a_1 = -0,0162; a_2 = 0,0124.$$

На основании этого оценку уравнения регрессии записывали в виде:

$$Y_1 = 0,3943 - 0,0162X_1 + 0,0124X_2.$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛОВ

Таблица 1 – Влияние основных параметров на процесс гидролиза при получении β-кератина

Table 1 - Influence of the main parameters on the hydrolysis process when obtaining β-keratin

№ опытов	№ п/п опытов	Значения нормированных факторов			Значения функции отклика Y ₁		
		X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃
1,5,9	1	1	1	1	0,3814	0,3893	0,3735
2,6,10	2	-1	1	-1	0,4081	0,4120	0,4158
3,7,11	3	1	-1	-1	0,3509	0,3586	0,3547
4,8,12	4	-1	-1	1	0,3870	0,3890	0,3910

Таблица 2 – Полный факторный эксперимент для построения модели белизны крахмала от параметров магнитной обработки

Table 2 - Complete factorial experiment for building a model of starch whiteness from the parameters of magnetic processing

№ опытов	№ п/п опытов	Значения нормированных факторов			Значения функции отклика Y ₁		
		X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃
1,5,9	1	1	1	1	3,5838	3,0756	3,3297
2,6,10	2	-1	1	-1	3,0416	3,3300	3,6183
3,7,11	3	1	-1	-1	3,3978	3,3583	3,4374
4,8,12	4	-1	-1	1	0,3870	3,2850	2,9235

Результаты вычислений по приведенным формулам с помощью пакета прикладных программ EXCEL для выполненного эксперимента дали следующие оценки коэффициентов уравнения регрессии для Y₂:

$$Y_2 = 3,33 + 0,028X_1 - 0,006X_2.$$

Полученные таким образом уравнения регрессии только в том случае соответствуют реальному процессу, когда их каждое слагаемое вносит вклад, значимо отличающийся от случайных колебаний функций отклика. Такое условие выполняется, если абсолютная величина коэффициента принимает значение больше, чем его доверительный интервал, определяемый при помощи критерия Стьюдента со степенью свободы:

$$f = M(k - 1), \text{ т. к. } |a_i| > 2\Delta a,$$

$$\text{где } \Delta a = t_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot S_{aij}, S_{ai} = \frac{s_y}{\sqrt{k}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M S_{y_i}^2}{k(M-1)}},$$

k – число параллельных опытов.

Проделанные вычисления интервалов достоверности коэффициентов уравнений регрессии свидетельствуют о том, что значимы лишь те слагаемые, для которых выполняется условие:

$$\text{для } Y_1 - |a_i| \geq 0,011;$$

$$\text{для } Y_2 - |a_i| \geq 0,005.$$

Важным шагом, предшествующим использованию полученных уравнений регрес-

сии, является проверка их адекватности. Она позволяет судить о том, не отброшены ли в процессе обработки результатов те величины, которые существенны для достоверного воспроизведения уравнениями реального процесса и правильно ли выбрана сформированная математическая модель.

Такую проверку выполняют вычислением расчетного значения критерия Фишера и сравнением с его табличным значением. Расчетное значение критерия определяется соотношением:

$$F_p = \frac{\max\{S_{ad}^2, S_y^2\}}{\min\{S_{ad}^2, S_y^2\}} \text{ при } S_{ag} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (y_i - y_{pi})^2}{k(M-1)}},$$

где y_p – рассчитанное по уравнениям значение функций отклика y₁ и y₂;

k – число коэффициентов в уравнении.

Пользуясь данными таблиц 1 и 2 и произведенных выше вычислений для расчетного критерия Фишера, находим F_p = 14,22. Для доверительной вероятности 95 % и соответствующих степеней свободы числителя и знаменателя табличное значение критерия Фишера в этом случае оказывается равным 12,67.

Неравенство F_p > F говорит о том, что выбранная в начале эксперимента линейная математическая модель неадекватна реальной зависимости функций отклика от варьируемых в эксперименте факторов.

Одним из способов отыскания зависимости адекватной реальной является дополнение плана полного эксперимента до центрального композиционного ротатабельного плана. Матрица планирования и некоторые вспомогательные величины представлены в виде таблицы 3.

Зависимости Y_1 и Y_2 от варьируемых параметров в этом случае искали в виде:

$$f = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2.$$

Результаты вычислений по приведенным формулам с помощью пакета прикладных программ EXCEL для выполненного эксперимента дали следующие оценки коэффициентов уравнения регрессии для выбранных функций отклика:

$$Y_1 = 0,384 - 0,0169X_1 + 0,0089X_2 - 0,0031X_1^2 + 0,0035X_2^2 + 0,0009X_1X_2;$$

$$Y_2 = 3,392 + 0,028X_1 - 0,006X_2 - 0,028X_1^2 - 0,028X_2^2 - 0,028X_1X_2.$$

Для проверки адекватности полученных уравнений регрессии, как и ранее, вычисляли дисперсию адекватности.

Адекватным уравнение регрессии является в том случае, когда выполняется соотношение:

$$S_{ад}/S_y^2 < F_{табл},$$

где $F_{табл}$ – табличное значение критерия Фишера.

Для данных таблицы 3 уровень значимости 0,05 и соответствующие степени свободы числителя и знаменателя, подставленные в расчетное значение критерия Фишера, дали результат значительно меньше табличного.

Полученные таким образом уравнения регрессии отображают реальные зависимости функций отклика от параметров обработки крахмального молока в магнитном поле, дают основание судить о зависимости доброкачественности извлеченного крахмала (Y_1), а также его белизны (Y_2), принятых в качестве функций отклика, от варьируемых параметров: X_1 – времени обработки и X_2 – индукции магнитного поля. Анализ полученных уравнений регрессии предварительно проведем графически, для чего построим соответствующие графики поверхностей изучаемых функций отклика. Такие графические зависимости приведены на рисунке 2.

Таблица 3 – Планирование эксперимента доброкачественности извлеченного крахмала (Y_1), а также его белизны (Y_2)

Table 3 - Design of the experiment of the good quality of the extracted starch (Y_1), as well as its whiteness (Y_2)

№ опыта	Значения нормированных факторов					Значения функции отклика Y_1		Значения функции отклика Y_2	
	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	Эксперим. Y_{1i}	Расчетные Y_{1p}	Эксперим. Y_{2i}	Расчетные Y_{2p}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	0,3814	0,3791	3,3297	3,3300
2	-1	1	-1	1	1	0,412	0,4111	3,3300	3,3298
3	1	-1	-1	1	1	0,3547	0,3595	3,3978	3,3931
4	-1	-1	1	1	1	0,3890	0,3951	3,2850	3,2972
5	1,41	0	0	2	0	0,3584	0,3575	3,3755	3,3849
6	-1,41	0	0	2	0	0,4081	0,4054	3,2958	3,2995
7	0	1,41	0	0	2	0,4005	0,4035	3,3275	3,3162
8	0	-1,41	0	0	2	0,3854	0,3791	3,3439	3,3563
9	0	0	0	0	0	0,3840	0,384	3,3922	3,392
10	0	0	0	0	0	0,3833	0,384	3,3956	3,392
11	0	0	0	0	0	0,3846	0,384	3,888	3,392

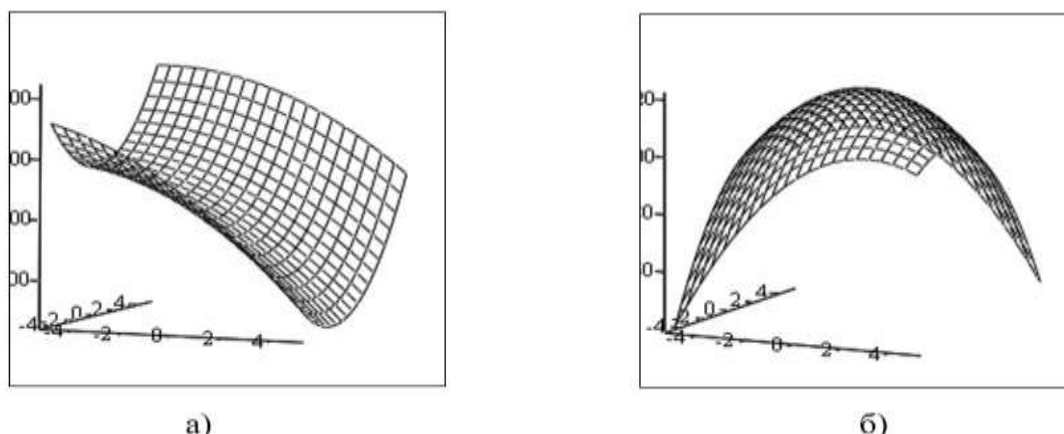


Рисунок 2 – Графическое изображение поверхностей отклика: а) Y_1 ; б) Y_2

Figure 2 - Graphic representation of response surfaces: а) Y_1 ; б) Y_2

На построенных графиках по оси ОХ отложены время обработки в магнитном поле t , а по оси ОУ – индукция магнитного поля В.

Из рисунка 2 (а) следует, что наиболее высокое значение Y_1 достигает при достаточно большом времени обработки и малых индукциях магнитного поля. При небольшом времени $X = 4$ аналогичное значение коэффициента Y_1 может быть достигнуто при значительных индукциях магнитного поля.

Рисунок 2 (б) говорит о том, что с точки зрения белизны процесс имеет явно выраженный экстремальный характер. Точное определение области экстремума, то есть значений изменяемых параметров, при которых достигается экстремальное значение белизны, определяется дифференцированием полученного для Y_2 уравнения с проверкой критической точки по критерию Сильвестра. Такие вычисления приводят к решению системы дифференциальных уравнений и определения знака определенным образом записанного определителя.

$$Y = \partial^2 Y / \partial^2 X_1 \cdot \partial^2 Y / \partial^2 X_2 - \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} \right)^2.$$

ВЫВОДЫ

Для функции отклика Y_1 величина такого критерия отрицательна, и поэтому экстремум отсутствует. В случае функции отклика Y_2 критерий Сильвестра положителен, а вторая производная по X_1 отрицательна. Это говорит о том, что функция Y_2 имеет экстремум в критической точке. Для его вычисления необходимо приравнять нулю первые производные и решить соответствующую систему уравнений:

$$\partial Y_2 / \partial X_1 = 0 \quad \partial Y_2 / \partial X_2 = 0.$$

Найденными решениями записанной системы уравнений являются $X_1 = 0,71$ и $X_2 = -0,41$, то есть оптимальные режимы процесса обработки в постоянном магнитном поле для получения крахмала максимальной белизны.

С другой стороны, для заранее заданных значений Y_1 и Y_2 могут быть подобраны величины технологических процессов, удовлетворяющие заказчика по технологическим или экономическим соображениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О ходе уборки картофеля в 2021 году – тенденции и прогнозы. URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/potatoes/o-khode-uborki-kartofelya-v-2021-godu-tendentsii-i-prognozy.html>. 01.08.2021.
2. Алексеев Г.В., Лей А.Г., Юхник И.П. Совершенствование технологического оборудования для получения модифицированного крахмала // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 3–6.
3. Устройство для приготовления белково-жировой эмульсии : пат. № 2732218, Рос. Федерация № 2019127003; заявл. 27.08.2019, опубл. 02.12.2019, Бюл. № 34. 5 с.
4. Сидорова Е.А., Дандамаев Г.Ш-В. Интенсификация процесса осветления крепленого винограда магнитным полем. М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1980. Вып. 5. С. 1–4.
5. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М. : Химия, 1978. 237 с.
6. Руськина А.А., Попова Н.В., Руськин Д.В. Модификация крахмала с помощью ультразвукового воздействия как инструмент изменения его технологических характеристик // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6. № 1. С. 69–76.
7. Анализ влияния параметров ультразвуковой обработки на клейстеризующую способность картофельного крахмала / Г.В. Алексеев [и др.] // Естественные и технические науки. 2021. № 7(158). С. 241–242.

8. Егорова О.А., Бирченко А.А., Шанин В.А. Совершенствование процесса осаждения крахмала из суспензии при обработке ультразвуком // Труды XII Евразийского научного форума : Сборник статей, Санкт-Петербург, 20 декабря 2020 г. Санкт-Петербург : Университет при МПА, 2020. С. 39–48.

9. Chun-Hsiang Chan, Ri-Gui Wu, Yi-Yuan Shao. The effects of ultrasonic treatment on physicochemical properties and in vitro digestibility of semigelatinized high amylose maize starch // *Food Hydrocolloids*. Volume 119. 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106831>.

10. Wenzhe Bai Pascal, Hébraud Muthupandian Ashokkumar. Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment // *Ultrasonics Sonochemistry*. Volume 35. Part B. 2017. P. 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.022>.

Информация об авторах

Г. В. Алексеев – д.т.н., профессор факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

В. А. Шанин – аспирант факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

А. Г. Леу – аспирант факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

А. А. Бирченко – аспирант факультета биотехнологий Национального исследовательского университета ИТМО.

REFERENCES

1. On the progress of the potato harvest in 2021 - trends and forecasts. <https://agrovesti.net/lib/industries/potatoes/o-khode-uborki-kartofelya-v-2021-godutendentsii-i-prognozy.html>. 08/01/2021. (In Russ.).

2. Alekseev, G.V., Leu, A.G. & Yukhnik, I.P. (2020). Improvement of technological equipment for obtaining modified starch. *Polzunovsky Bulletin*, (2), 3-6. (In Russ.).

3. Raspopov, D.S., Leu, A.G., Bezgin, M.V., Verboloz, M.V., Romanchikov, S.A. & Shangutov, A.O. (2019). Device for preparation of protein-fat emulsion:

Pat. 2732218 Rus. Federation, published on 02.12.2019.

4. Sidorova, E.A. & Dandamaev, G.Sh-V. (1980). Intensification of the process of clarifying the fortified-wine material with a magnetic field, M., Central Research Institute of Information and Technical and Economic Research. (In Russ.).

5. Klassen, V.I. (1978). Magnetization of water systems, M., Chemistry. (In Russ.).

6. Ruskina, A.A., Popova, N.V. & Ruskin, D.V. (2018). Modification of starch using ultrasonic exposure as a tool for changing its technological characteristics. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, (8), 69-76. (In Russ.).

7. Alekseev, G.V. et al. (2021). Analysis of the influence of ultrasonic treatment parameters on the gelatinizing ability of potato. *Natural and technical sciences*, (7), 241-242. (In Russ.).

8. Egorova, O.A., Birchenko, A.A. & Shanin, V.A. Improvement of the process of precipitation of starch from suspension during treatment with ultrasound. *Proceedings of the XII Eurasian Scientific Forum: Collection of articles* University at IPA, St. Petersburg. (In Russ.).

9. Chan, C.-H., Wu, R.-G. & Shao, Y.-Y. (2021). The effects of ultrasonic treatment on physicochemical properties and in vitro digestibility of semigelatinized high amylose maize starch. *Food Hydrocolloids*, (119) <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106831>.

10. Bai, W., Hébraud, P. & Ashokkumar, M. (2017). Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, (35), Part B, 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.022>.

Information about the authors

G. V. Alekseev - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

V. A. Shanin - postgraduate student of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

A. G. Leu - postgraduate student of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

A. A. Birchenko - postgraduate student of the Faculty of Biotechnology, National Research University ITMO.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 06.10.2021; одобрена после рецензирования 14.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 6 Oct 21; approved after reviewing on 14 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.